

## BAB IV HASIL DAN ANALISA

### 4.1 Gambaran Umum Analisa Sistem

Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan cara melakukan simulasi pada sistem CSTR. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana performa sistem CSTR sebelum diimplementasikan pada sistem yang sebenarnya. Setelah disimulasikan, didapatkan analisa mengenai performansi pengendali pada sistem untuk mencapai karakter respon yang diinginkan. Adapun beberapa analisa yang akan dilakukan pada Bab ini adalah:

1. Analisa sistem *Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor* (CSTR) secara *Open Loop* (tanpa pengendali).
2. Analisa pengendali LQR dalam mencapai *setpoint Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor*.
3. Analisa pengendali LQR-PD dalam mencapai *setpoint Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor*.

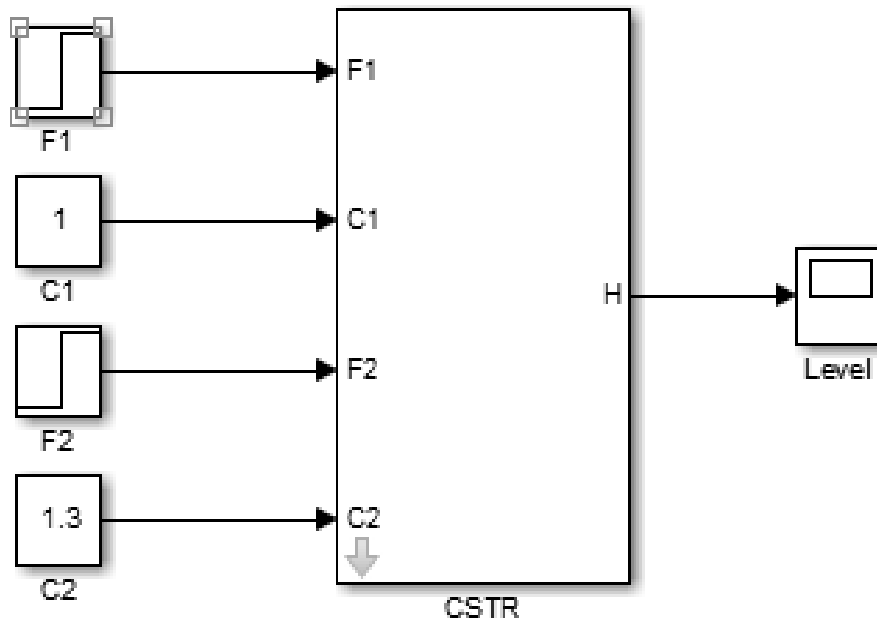
### 4.2 Hasil Pengujian *Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor* secara Openloop.

Untuk melakukan analisis terhadap keluaran respon *level* pada CSTR kita perlu melakukan pengujian simulasi terhadap sistem terlebih dahulu. Pada bab 3 kita telah mendapatkan pemodelan matematisnya, yang kemudian akan ditransformasikan kedalam bentuk blok diagram *simulink* pada MATLAB yang selanjutnya akan disimulasikan yang bertujuan untuk mendapatkan respon keluaran sistem. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan karakteristik keluaran sistem tanpa pengendali sebelum dilakukan perancangan pengendali dan memilih pengendali apa yang akan digunakan agar mampu mendapatkan performansi yang baik dari respon keluaran sistem.

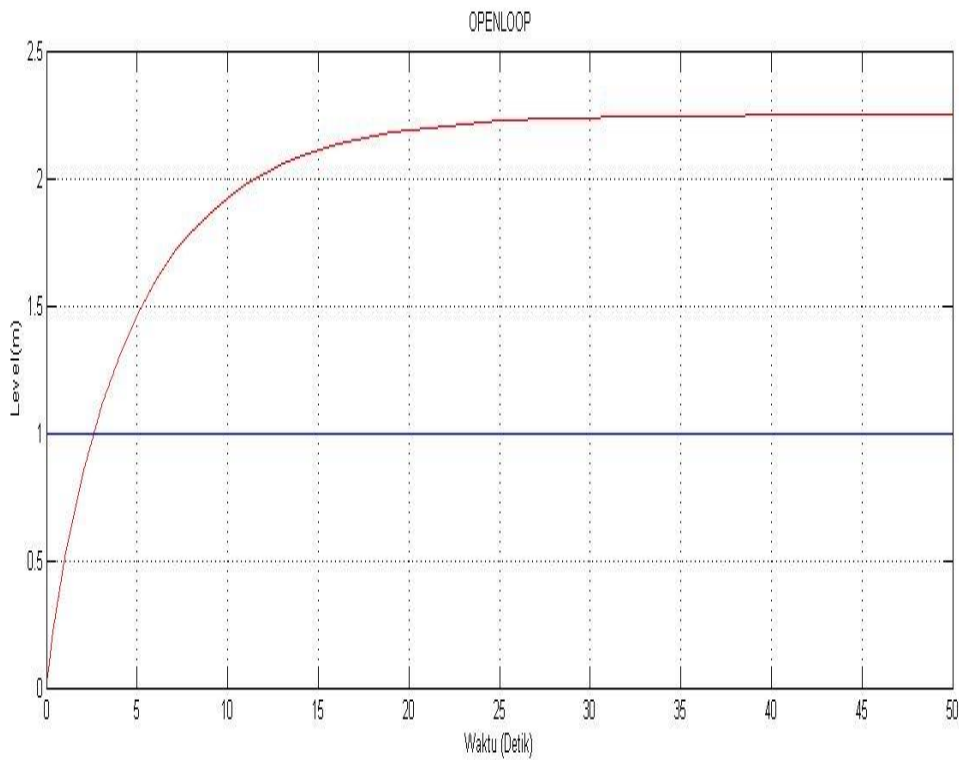
UIN SUSKA RIAU

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 4.1. Blok Simulink Sistem *Level* pada CSTR secara *Openloop*.



Gambar 4.2. Hasil respon sistem *level* pada CSTR secara *openloop*.

Hasil respon sistem *level* pada CSTR secara *openloop* pada gambar 4.2 merupakan tampilan scope dari simulink yang sudah dirancang. Pada perancangan ini waktu yang digunakan adalah 50 detik dengan besar masukan 1 meter. Setelah melakukan pengujian hasil yang didapat adalah sistem tidak mampu mencapai *setpoint* yang telah ditentukan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kestabilan pun masih sangat besar, begitu juga *error* yang juga sangat besar. Sehingga perlu ditambahkan pengendali yang mampu untuk mencapai *setpoint* dan juga mempercepat waktu untuk mencapai kestabilan serta mampu membuat sistem menjadi stabil walaupun terdapat gangguan. Analisis respon sistem *level* pada CSTR tanpa pengendali adalah sebagai berikut:

1. Konstanta Waktu (  $\tau$  )

Kondisi ketika respons mencapai 63.2 % dari *steady state* adalah

$$\begin{aligned} y_{63.2\%} &= 63.2\% \times \text{steady state} \\ &= 63.2\% \times 2.24\text{m} \\ &= 1.42\text{m} \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan kondisi respon 63.2% dari respon *steady state* adalah 1.42m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* tampilan *scope* adalah sebesar 4.754 detik.

2. Waktu tunda atau *delay time* ( $t_d$ )

$$\begin{aligned} y_d &= 50\% \times \text{steady state} \\ &= 50\% \times 2.24\text{m} \\ &= 1.12\text{m} \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan kondisi respon 50% dari respon *steady state* adalah 1.12 m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* terhadap tampilan *scope* adalah 3.1 detik.

3. Waktu naik atau *rise time* ( $t_r$ )

$$\begin{aligned} y_{5\%} &= 5\% \times \text{steady state} \\ &= 5\% \times 2.24\text{m} \\ &= 0.11\text{m} \end{aligned}$$



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Nilai yang menunjukkan respon *rise time* saat keadaan 5% dari respon *steady state* adalah 0.11m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* pada tampilan *scope* adalah 0.17detik.

$$\begin{aligned} y_r &= 95\% \times \text{setpoint} \\ &= 95\% \times 2.24\text{m} \\ &= 2.13\text{m} \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan respon *rise time* saat keadaan 95% dari respon *steady state* adalah 2.13m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* pada tampilan *scope* adalah 15.8 detik.

Maka, nilai waktu naik yang didapat dari respon sistem pada keadaan *openloop* adalah

$$\begin{aligned} y_r &= t_{r95\%} - t_{r5\%} \\ &= 15.8 \text{ detik} - 0.17 \text{ detik} \\ &= 15.63 \text{ detik} \end{aligned}$$

#### 4. Waktu tunak atau *settling time* ( $t_s$ )

$$\begin{aligned} y_s &= 98\% \times \text{steady state} \\ &= 98\% \times 2.24\text{m} \\ &= 2.2\text{m} \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan respon waktu tunak saat keadaan 98% dari respon *setpoint* adalah 2.2m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* terhadap tampilan *scope* adalah 21.16 detik.

#### 5. *Error steady state*

$$\begin{aligned} e_{ss} &= C_{ss} - R_{ss} \\ &= 2.24\text{m} - 1\text{m} \\ &= 1.24\text{m} \end{aligned}$$

*Error steady state* pengendalian *level* pada CSTR pada keadaan *openloop* adalah 1.24m.

#### 4.3

#### Analisi Pengujian *Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor* secara *Openloop*.

Setelah dilakukan pengujian secara *openloop*, maka didapatlah hasil simulasi sistem *level* pada CSTR sebagai

Tabel 4.1 Pengujian *Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor* secara *Openloop*.

Analisa Respon	Hasil simulasi
Konstanta waktu	4.754 detik
Waktu tunda / delay time	3.1 detik
Waktu naik/ rise time	15.63detik
Waktu tunak / setling time	21.16 detik
Error steady state	1.24m

Dari tabel tersebut didapatlah hasil pengujian simulasi *level* pada CSTR secara *openloop*, dimana hasil yang didapatkan adalah *error steady state* sebesar 1,24 meter. Hasil yang didapatkan masih sangat jauh dari *setpoint* sistem yaitu 1 meter, bahkan waktu yang dibutuhkan *risetime* adalah 15.63 detik yang merupakan waktu yang cukup lama.

#### 4.4 Hasil Pengujian *Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor* dengan Pengendali LQR

Setelah dilakukan percobaan terhadap *level* pada CSTR secara *openloop*, selanjutnya dilakukan perbaikan respon keluaran *openloop* dengan menggunakan pengendali LQR. Pada pengendali LQR dibutuhkan nilai matriks Q dan R. matriks Q dan R yang dibutuhkan disini dapatkan dengan metode Heuristic dengan nilai  $Q=0.87505$  dan  $R=1$ . Berikut hasil simulasi sistem pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR

UIN SUSKA RIAU





#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

lebih baik. Analisa pengendalian *level* pada CSTR menggunakan kendali LQR adalah sebagai berikut:

#### 1. Konstanta Waktu ( $\tau$ )

Kondisi ketika respons mencapai 63.2 % dari *steady state* adalah

$$\begin{aligned} y_{63.2\%} &= 63.2\% \times \text{steady state} \\ &= 63.2\% \times 1\text{m} \\ &= 0.632\text{m} \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan kondisi respon 63.2% dari respon *steady state* adalah 0.632m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* tampilan *scope* adalah sebesar 1.1026 detik.

#### 2. Waktu tunda atau *delay time* ( $t_d$ )

$$\begin{aligned} y_d &= 50\% \times \text{steady state} \\ &= 50\% \times 1\text{m} \\ &= 0.5\text{m} \end{aligned}$$

Nilai ini menunjukkan respon sistem 50% dari respon *steady state* yaitu 0.5m dengan waktu yang didapatkan setelah melakukan *zoom* tampilan *scope* adalah 0.7202 detik.

#### 3. Waktu naik atau *rise time* ( $t_r$ )

$$\begin{aligned} y_{r5\%} &= 5\% \times \text{steady state} \\ &= 5\% \times 1\text{m} \\ &= 0.05\text{m} \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan respon *rise time* saat keadaan 5% dari respon *steady state* adalah 0.05m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* pada tampilan *scope* adalah 0.0562detik.

$$\begin{aligned} y_{r95\%} &= 95\% \times \text{steady state} \\ &= 95\% \times 1\text{m} \\ &= 0.95\text{m} \end{aligned}$$

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Nilai yang menunjukkan respon *rise time* saat keadaan 95% dari respon *steady state* adalah 0.95m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* pada tampilan *scope* adalah 3.1985detik.

Maka, nilai waktu naik yang didapat dari respon sistem dengan pengendali LQR adalah

$$\begin{aligned} t_r &= t_{r95\%} - t_{r5\%} \\ &= 3.1985 \text{ detik} - 0.0562 \text{ detik} \\ &= 3.1423 \text{ detik} \end{aligned}$$

4. Waktu tunak atau *settling time* ( $t_s$ )

$$\begin{aligned} y_s &= 98\% \times \text{steady state} \\ &= 98\% \times 1 \text{ m} \\ &= 0.98\text{m} \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan respon waktu tunak saat keadaan 98% dari respon *steady state* adalah 0.98 m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* terhadap tampilan *scope* adalah 3.9583detik.

5. *Error steady state*

$$\begin{aligned} e_{ss} &= C_{ss} - R_{ss} \\ &= 1 \text{ m} - 1\text{m} \\ &= 0 \text{ m} \end{aligned}$$

*Error steady state* pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR adalah 0 m

#### 4.5 Analisa Pengujian *Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor* dengan Pengendali LQR

Setelah didapatkan hasil perancangan secara *openloop*, selanjutnya pengendalian *level* pada CSTR dilakukan dengan menggunakan pengendali LQR. Pengendali LQR yang dipasang untuk mengendalikan *level* pada CSTR mendapatkan hasil simulasi sebagai berikut:



Tabel 4.2 Pengujian *Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor* menggunakan LQR

Analisa Respon	Hasil simulasi
Konstanta waktu	1.1026 detik
Waktu tunda / delay time	0.7202 detik
Waktu naik/ rise time	3.1423 detik
Waktu tunak / setling time	3.9583 detik
Error steady state	0 m

Dari hasil simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan pengendali LQR adalah respon sistem yang didapat lebih baik dari pada sistem saat keadaan *openloop*. Setelah dipasangkan pengendali LQR, *error steady state* yang didapat adalah sebesar 0 meter dari *setpoint* sebesar 1 meter. Dapat diketahui bahwa pengendali LQR bisa menghilangkan *error steady state* pada sistem pengendalian *level* pada CSTR. Namun *risetime* yang didapat dari pengendali LQR masih besar yaitu 3.9583 detik.

#### 4.6 Hasil Pengujian *Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor* dengan Pengendali LQR-PD

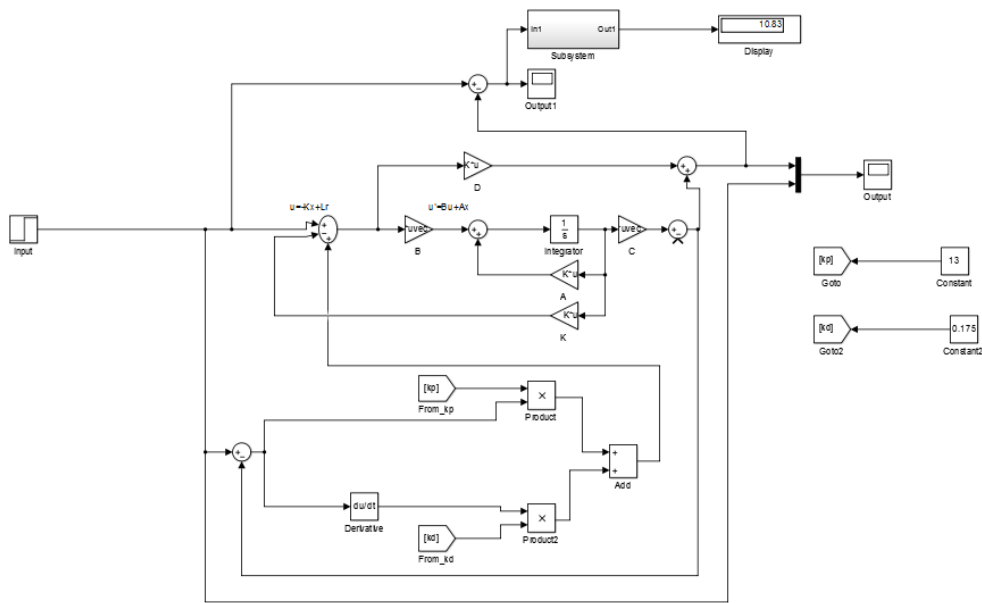
Setelah melakukan pengendalian *level* pada CSTR menggunakan pengendali LQR, berikutnya pengendali LQR akan ditambahkan dengan pengendali PD untuk mempercepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* yang ketika dikendalikan dengan pengendali LQR saja masih membutuhkan waktu yang lama. Parameter yang dibutuhkan adalah Kp dan Kd yang nilainya didapat dengan menggunakan metode Heuristic yang nilai parameter Kp = 15 dan Kd = -0.1. Hasil keluaran sistem pengendalian *level* pada CSTR menggunakan pengendali LQR-PD adalah sebagai berikut

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

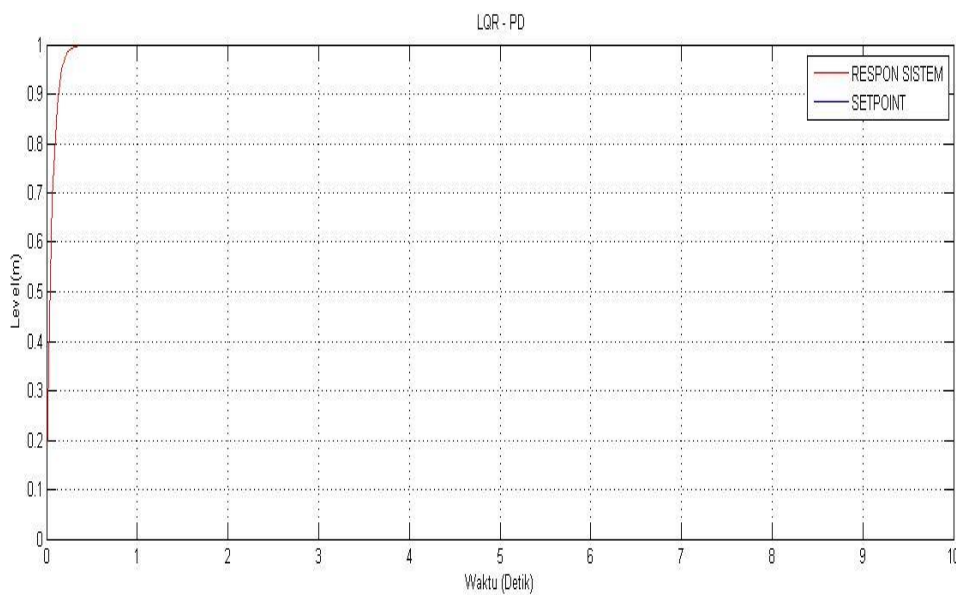
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 4.5 Blok Simulink pengendali *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD



Gambar 4.6 Respon pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD

Analisis pengendalian *level* pada CSTR menggunakan kendali LQR-PD adalah sebagai berikut

- Konstanta Waktu ( $\tau$ )

Kondisi ketika respons mencapai 63.2 % dari *steady state* adalah

$$y_{63.2\%} = 63.2\% \times \text{steady state} \\ = 63.2\% \times 1\text{m}$$

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$= 0.632m$$

Nilai yang menunjukkan kondisi respon 63.2% dari respon *steady state* adalah 0.632 m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* tampilan *scope* adalah sebesar 0.0577detik.

- Waktu tunda atau *delay time* ( $t_d$ )

$$\begin{aligned} y_d &= 50\% \times \text{steady state} \\ &= 50\% \times 1m \\ &= 0.5m \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan kondisi respon 50% dari respon *steady state* adalah 0.5m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* terhadap tampilan *scope* adalah 0.0418detik.

- Waktu naik atau *rise time* ( $t_r$ )

$$\begin{aligned} y_{r5\%} &= 5\% \times \text{steady state} \\ &= 5\% \times 1m \\ &= 0.05m \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan respon *rise time* saat keadaan 5% dari respon *setpoint* adalah 0.05m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* pada tampilan *scope* adalah 0.0029 detik.

$$\begin{aligned} y_{r95\%} &= 95\% \times \text{steady state} \\ &= 95\% \times 1m \\ &= 0.95m \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan respon *rise time* saat keadaan 95% dari respon *steady state* adalah 0.95m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* pada tampilan *scope* adalah 0.1651 detik.

Maka, nilai waktu naik yang didapat dari respon sistem dengan pengendali LQR-PD adalah

$$\begin{aligned} t_r &= t_{r95\%} - t_{r5\%} \\ &= 0.1651\text{detik} - 0.0029\text{detik} \\ &= 0.1622\text{detik} \end{aligned}$$



#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

#### 4. Waktu tunak atau *settling time* ( $t_s$ )

$$\begin{aligned} y_s &= 98\% \times \text{steady state} \\ &= 98\% \times 1\text{m} \\ &= 0.98\text{m} \end{aligned}$$

Nilai yang menunjukkan respon waktu tunak saat keadaan 98% dari respon *steady state* adalah 0.98m dengan waktu setelah dilakukan *zoom* terhadap tampilan *scope* adalah 0.2193 detik.

#### 5. *Error steady state*

$$\begin{aligned} e_{ss} &= C_{ss} - R_{ss} \\ &= 1\text{m} - 1\text{m} \\ &= 0\text{m} \end{aligned}$$

*Error steady state* pengendalian *level* pada CSTR menggunakan LQR-PD adalah 0 m

### 4.7 Analisa Pengujian *Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor* dengan Pengendali LQR-PD

Setelah dilakukan simulasi pengendalian *level* pada CSTR menggunakan pengendali LQR-PD, hasil simulasi yang didapat adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Analisa Pengujian *Level* pada *Continuous Stirret Tank Reactor* dengan Pengendali LQR-PD

Analisa Respon	Hasil simulasi
Konstanta waktu	0.0577 detik
Waktu tunda / delay time	0.0418 detik
Waktu naik/ rise time	0.1622detik
Waktu tunak / setling time	0.2193 detik
Error steady state	0 m